

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : **59-127006**

(43)Date of publication of application : **21.07.1984**

(51)Int. Cl.

**G02B 5/18**

(21)Application number : **58-002648**

(71)Applicant : **MITSUBISHI ELECTRIC CORP**

(22)Date of filing : **11.01.1983**

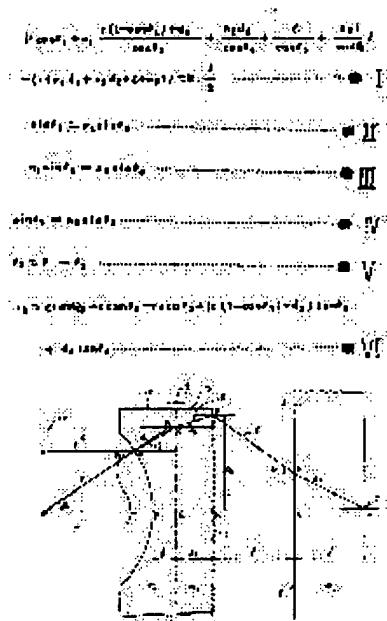
(72)Inventor : **TATSUMI KENJI  
SAEKI RIICHI  
TAKEI TOSHIO**

## (54) FRESNEL ZONE PLATE

### (57)Abstract:

**PURPOSE:** To eliminate a difference in sphericity and to reduce coma-aberration by regarding the concave surface side of a plano-concave lens as an incident surface where parallel light strikes, forming a Fresnel zone on the plane side, and specifying the radii of rings and the thickness, refractive index, radius of curvature, etc., of said plano-concave lens.

**CONSTITUTION:** A Fresnel zone plate 3 uses the concave surface of the plano-concave lens 19 as the incident surface where the parallel light strikes and has the Fresnel zone 2 on the plane side; and simultaneous equations I WVI hold for radii of rings, and the refractive index, thickness, and radius of curvature of the plano-concave lens 19 are so determined that the evaluated amount of residual coma-aberration is reduced, thereby reducing the spot diameter of a diffraction limit and coma-aberration in a transparent material 8 which has a >1 refractive index. Thus, the radii  $r_k$  of rings of the Fresnel zone, thickness  $d_1$  and refractive index  $n_1$  of the concave transparent plate, and thickness  $d_2$  and refractive index  $n_2$  of the parallel transparent plate are determined, and consequently the coma-aberration of projected light is eliminated even if the incident parallel light slants to an optical axis, so that a sharp spot is obtained at a convergence point 7.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

⑩ 日本国特許庁 (JP)

⑪ 特許出願公開

## ⑫ 公開特許公報 (A)

昭59-127006

⑬ Int. Cl.<sup>3</sup>  
G 02 B 5/18

識別記号

庁内整理番号  
7370-2H

⑭ 公開 昭和59年(1984)7月21日

発明の数 1  
審査請求 未請求

(全 7 頁)

## ⑮ フレネルゾーンプレート

⑯ 特 願 昭58-2648

⑰ 出 願 昭58(1983)1月11日

⑱ 発 明 者 辰巳賢二

鎌倉市上町屋325番地三菱電機  
株式会社情報電子研究所内

⑲ 発 明 者 佐伯利一

鎌倉市上町屋325番地三菱電機

株式会社情報電子研究所内

⑳ 発 明 者 竹居敏夫

鎌倉市上町屋325番地三菱電機  
株式会社情報電子研究所内

㉑ 出 願 人 三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目2  
番3号

㉒ 代 理 人 弁理士 葛野信一 外1名

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

フレネルゾーンプレート

## 2. 特許請求の範囲

(1) 平行光を屈折率が1以上の透明物質中の1点に集光させるフレネルゾーンプレートにおいて、屈折率が $n_2$ で厚さが $d_2$ である平行な透明板と、屈折率が $n_1$ で中心の厚さが $d_1$ で一方の側を半径 $r$ の凹面とし、もう一方の側を平面とした形状をもつ凹面透明板の平面側に上記平行透明板とを組合せた構成の平凹レンズの凹面側を平行光が入射する側とし、上記平凹レンズの平面側にフレネルゾーンを形成し、かつ上記フレネルゾーン中により $k$ 番目の輪帯半径 $r_k$ が $\theta_1$ と $\theta_2$ と $\theta_3$ と $\theta_4$ と $\theta_5$ と $\theta_6$ を変数とする連立方程式

$$(r \cos \theta_1 + n_1 \frac{r(1 - \cos \theta_1) + d_1}{\cos \theta_3} + \frac{n_2 d_2}{\cos \theta_4} + \frac{\ell}{\cos \theta_5} + \frac{n_3 \ell}{\cos \theta_6})$$

$$-(r + n_1 d_1 + n_2 d_2 + \ell + n_3 \ell) = k \cdot \frac{\lambda}{2}$$

$$\sin \theta_1 = n_1 \sin \theta_2$$

$$n_1 \sin \theta_3 = n_2 \sin \theta_4$$

$$\sin \theta_5 = n_3 \sin \theta_6$$

$$\theta_3 = \theta_1 - \theta_2$$

$$\ell \tan \theta_5 + \ell \tan \theta_6 = \sin \theta_1 + (r(1 - \cos \theta_1) + d_1) \tan \theta_3 + d_2 \tan \theta_4$$

(ここで $k = 1, 2, \dots$ ,  $\ell$ はフレネルゾーンプレートの出射側から屈折率 $n_3$ の透明物質の表面までの距離、 $r$ は上記透明物質の表面から集光点までの距離、 $\lambda$ は波長である)

の解により

$$r_k = \ell \tan \theta_5 + \ell \tan \theta_6$$

と与えられ、かつ上記フレネルゾーンプレートの開口数 $N.A$ が0.1から0.6の範囲で残留コマ収差の評価値が

$$\sqrt{\frac{1}{k_{\max}} \sum_{k=1}^{k_{\max}} \left( \frac{r \sin \theta_1}{\sin \theta_6} - n_3 f \right)^2} \leq 100 \lambda$$

(ここで $k_{\max}$ は最大輪帯数、 $f$ は焦点距離である)

となるようにしたことを特徴とするフレネルゾーンプレート。

(2) フレネルゾーンの輪帯半径  $r_{2k-1}$  と  $r_k$  ( $k = 1, 2, \dots$ ) との間のみに屈折率が  $n$  ( $n \neq 1$ ) の透明物質を付けたことを特徴とする特許請求の範囲  
オ(1)項記載のフレネルゾーンプレート

(3) フレネルゾーンの輪帯半径  $r_k$  の0から  $r_2$  および  $r_{2k}$  から  $r_{2k+2}$  ( $k=1, 2, \dots$ ) の輪帯の間では連続的に厚さが薄くなる屈折率  $n$  ( $n \neq 1$ ) の透明物質を形成しフレネルゾーンのブレース化を計ったことを特徴とする特許請求の範囲  
オ(1)項記載のフレネルゾーンプレート

(4) 平凹レンズを1枚の透明板により形成したことを特徴とする特許請求の範囲  
オ(2)項およびオ(3)項記載のフレネルゾーンプレート

### 3. 発明の詳細な説明

この発明は、空気中より屈折率が1以上の透明な物質中の1点に平行光を集光させ、かつコマ収差のないフレネルゾーンプレートに関するものである。

に示す。

次に、オ(1)式で与えられる輪帯をもつフレネルゾーンプレートを用いて、空気中より屈折率  $n_2 > 1$  の透明な物質中へ平行光を集光させる場合には、空気と上記透明物質との境界で屈折が起きるため球面収差が生じ、集光点でのスポット径が回折限界による値よりも大きくなり、シャープに集光することができなくなる。この状態を示したものがオ3図である。オ3図において、(3)はオ1図で説明した輪帯半径がオ1式で与えられるフレネルゾーンプレート、(8)は屈折率  $n_2 > 1$  の透明物質、(9)は上記透明物質と空気との境界である。フレネルゾーンプレート(3)で回折された出射光(6)は焦点(4)に向う光線となるが、境界(9)で屈折されるため、この面における屈折の法則に従った方向に変えられ、光軸(4)とは焦点(4)とは異なる位置で交わる。他の光線も同様にして境界(9)で屈折され集光点(7)の近傍で光軸と交わる。この光軸と交わる位置は各光線により異なるため1点では交わらず、集光点(7)における像はボケ、そのスポット径は回折限

従来のこの種フレネルゾーンプレートはその輪帯の半径  $r_k$  がオ1式

$$r_k = \frac{\lambda k}{2} \left( \frac{\lambda k}{2} + 2f \right) \dots\dots\dots (1)$$

で与えられる値をもち、平行平板のガラス板の片面のみにフレネルゾーンが形成される構成になっていた。オ1式において、 $\lambda$  は波長、 $f$  は焦点距離、 $k = 1, 2, 3, \dots$  である。このフレネルゾーンプレートの作用をオ1図に示す。オ1図において、

(1)はガラス板、(2)はフレネルゾーン、(3)はフレネルゾーンプレート、(4)は光軸、(5)は入射平行光、(6)は出射光、(7)は集光点である。このような構成のフレネルゾーンプレート(3)に光軸(4)に平行な入射光が入射すると、入射平行光(5)はフレネルゾーン(2)の半径  $r_k$  のところで回折され、集光点(7)に向う出射光線(6)に変換され、他の入射光線も同様に集光点(7)に向う出射光線(6)に変換される。この場合には集光点(7)では集差を生じることなく回折限界のスポットサイズをもつ集光光が得られる。

この状態におけるスポットダイアグラムをオ2図

界による値よりも大きくなる。これをオ4図に示す。

また、オ1図で示したフレネルゾーンプレート(3)に上記光軸(4)に対して傾きをもつ平行光(10)を入射した場合には、コマ収差が生じ、集光点でのスポット径が回折限界による値よりも大きくなり、シャープに集光することができなくなる。この状態を示したものがオ5図である。オ5図において、(10) (11a) (11b) は上記光軸(4)に対して傾きをもつ入射平行光、(12a) (12b) は入射平行光(10) (11a) (11b) に対する出射光、(13)は入射平行光(10)に対する集光点である。フレネルゾーン(2)で回折された出射光(12)は上記境界(9)で屈折され集光点(13)に向う光線となるが、入射平行光(10)のフレネルゾーンに対する入射高さが、入射平行光(10)と入射平行光 (11a) (11b) とでは異なるため、フレネルゾーン(2)で回折された出射光(12)と出射光 (12a) および出射光 (12b) は境界面(9)で屈折されたのちも1点では交わらず互いに異なる位置で交わる。

他の光線についても同じである。その差異はいわ

ゆるコマ収差となって現われ集光点(13)における像はボケ、そのスポット径は回折限界による値よりも大きくなる。オ6図に、オ5図の集光点(13)におけるスポットダイアグラムを示す。

このように、従来のフレネルゾーンプレートでは、屈折率が1より大きい物質中でシャープに集光できないという欠点があるとともに、入射平行光が光軸に対して傾くとコマ収差を生じシャープに集光することはできないという欠点があった。

この発明は、以上の欠点を除去するため、平凹レンズの凹面側を平行光が入射する入射面とし、平面側にフレネルゾーンを作成し、正弦条件の不満足量が小さくなるようにまた、屈折率が1以上の物質中で回折限界のスポット径となるようにフレネルゾーンの輪帯半径、上記平凹レンズの厚み、屈折率および曲率半径等を決定し、球面状差を除去しかつコマ収差が小さくなるようにしたものであり、以下図面について詳細に説明する。

オ7図は本発明のフレネルゾーンプレートの輪帯半径を求めるための模式図である。このフレネ

ルゾーンプレートより距離 $l$ のところにある屈折率 $n_3 \geq 1$ の透明物質(8)中に表面(9)より距離 $l$ のところで入射平行光(5)を集光させかつコマ収差が小さくなるようにフレネルゾーンの輪帯半径 $r_k$ 、平凹レンズの厚み、屈折率および曲率半径を求める。オ7図において、(14)は平行透明板、(15)は凹面透明板、(16)は屈折光、(17)は屈折光、(18)は平凹レンズ、(19)は基準平面である。

オ7図において、入射平行光(5)を集光点Fで1点に集光するためには、基準平面上の点Aから凹面透明板上の点Bから平行透明板(14)上の点Cとフレネルゾーン上の点Dを経て、透明物質上の点Eで屈折して集光点Fに至る光学距離と、基準平面上の点Oから点Pと点Qと点Rと点Sを経て点Fに至る光学距離との差が $1/2$ 波長の整数倍になることである。

すなわち、この条件はオ(2)式

$$(\overline{AB} + n_1 \overline{BC} + n_2 \overline{CD} + \overline{DE} + n_3 \overline{EF}) - (\overline{OP} + n_1 \overline{PQ} + n_2 \overline{QR} + \overline{RS} + n_3 \overline{SF}) = k \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (2)$$

$$\sin \theta_5 = n_3 \sin \theta_6 \quad (6)$$

$$\theta_3 = \theta_1 - \theta_2 \quad (7)$$

と書ける。

次に、フレネルゾーンの輪帯の半径を $r_k$ とすると、

$$r_k = l \tan \theta_3 + l \tan \theta_6 = r \sin \theta_1 + (r(1 - \cos \theta_1) + d_1) \tan \theta_3 + d_2 \tan \theta_4 \quad (8)$$

と書ける。

以上のオ3式からオ8式を $\theta_1$ から $\theta_6$ を変数とする連立方程式として解き、その解をオ8式に代入すると輪帯の半径 $r_k$ が求まり、球面収差が除去されたものとなっている。

しかし、コマ収差を生じないためにはいわゆる正弦条件を満足する必要があるが、必ずしもすべての入射光線に対して正弦条件を満たすようにすることはできない。正弦条件の不満足量をS.C.で表わすと、定義により

$$S.C. = \frac{r \sin \theta_1}{\sin \theta_6} - n_3 f \quad (9)$$

のように書くことができる。ここで $n_1$ は上記凹面透明板の屈折率、 $n_2$ は上記平行透明板の屈折率、 $k$ は輪帯の番号で $k = 1, 2, \dots$ 、 $\lambda$ は波長である。

次に、点Bと点Cおよび点Eで各光線が屈折することを考慮し、角度 $Q_1$ と $Q_2$ と $Q_3$ と $Q_4$ と $Q_5$ と $Q_6$ とをオ7図のようにとり、かつ、上記凹面ガラス板の中心部の厚さを $d_1$ 、曲率半径を $r_1$ 、平行ガラス板の厚さを $d_2$ 、上記フレネルゾーンプレートと透明物質(8)との距離を $l$ 、上記透明物質(8)の表面(9)より集光点までの距離を $f$ とするとオ(2)式はオ(3)式のように書ける。

$$(r \cos \theta_1 + n_1 \frac{r(1 - \cos \theta_1) + d_1}{\cos \theta_3} + \frac{n_2 d_2}{\cos \theta_4} + \frac{l}{\cos \theta_6} + \frac{n_3 f}{\cos \theta_6}) - (r + n_1 d_1 + n_2 d_2 + l + n_3 f) = k \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (3)$$

また、点Bと点Cおよび点Eにおいてはスネルの法則より

$$\sin \theta_1 = n_1 \sin \theta_2 \quad (4)$$

$$n_1 \sin \theta_3 = n_2 \sin \theta_4 \quad (5)$$

と書ける。ここで $f$ は焦点距離である。

本発明によるフレネルゾーンプレートでは、残留コマ収差の評価値として

$$\sqrt{\frac{1}{k_{\max}} \sum_k^{k_{\max}} (S.C.)^2}$$

から0.6の間で

$$\sqrt{\frac{1}{k_{\max}} \sum_k^{k_{\max}} (S.C.)^2} \leq 100\lambda \dots\dots\dots (4)$$

となるように凹面透明板の屈折率 $n_1$ 、厚さ $d_1$ と曲率半径 $r$ および平行透明板の厚み $d_2$ と屈折率 $n_2$ の値を選択して連立方程式を解く。

このように、フレネルゾーンの輪帯半径 $r_k$ 、上記凹面透明板の厚み $d_1$ と屈折率 $n_1$ 、上記平行透明板の厚み $d_2$ と屈折率 $n_2$ とをきめると、入射平行光が光軸(4)に対し傾いたとしても出射光のコマ収差は除去されているので集光点(3)ではシャープなスポットが得られる。オ8図はこの状況を示したものであり、オ9図は集光点(3)におけるスポットを示したものである。

オ10図の実線(1)は残留コマ収差の評価値が282

μであり凹面透明板(8)と平行透明板(9)の屈折率が異なる場合の入射高さで正交条件不満足量との関係を示したものであり、パラメータの値を、 $n_1 = 1.7, n_2 = 1.5, n_3 = 1.5, d_1 = 1 \text{ mm}, d_2 = 0.5 \text{ mm}, \lambda = 2 \text{ mm}, t = 1.2 \text{ mm}, \lambda = 0.78 \mu\text{m}$ とし開口数NAを0.45としたものである。

図中、点線(2)は開口数と直径が同じな従来のフレネルゾーンプレートの収差を示したものであり、これにくらべて本発明によるフレネルゾーンプレートのコマ収差は非常に小さくなっていることがわかる。

オ11図は凹面透明板(8)と平行透明板(9)の屈折率を同じとし、上記凹面透明板(8)と平行透明板(9)を分割せずに1体とした残留コマ収差の評価値が4.55μとなる場合であるが、この場合でもコマ収差の発生は小さいことがわかる。

オ12図は本発明の一実施例であり、平行透明板(9)の上に、輪帯の半径 $r_k$ の0と $r_1$ との間および $r_{2k-1}$ と $r_{2k}$  ( $k=1, 2, \dots$ )との間および $r_{2k-1}$ と $r_{2k}$  ( $k=1, 2, \dots$ )との間のみに屈折率が $n$  ( $n \neq$

1)の透明物質(2)を付けてフレネルゾーン(2)を形成した位相型のフレネルゾーンプレートである。

また、オ13図は本発明の他の実施例であり、平行透明板(9)の上に、輪帯の半径 $r_k$ の0から $r_2$ および $r_2$ から $r_{2k+2}$  ( $k=1, 2, \dots$ )の輪帯の間では連続的に厚さが薄くなる屈折率 $n$ の透明物質(2)を付けてフレネルゾーンを形成しブレース化を計った位相型のフレネルゾーンプレートである。

オ14図は本発明の他の実施例であり、凹面透明板(8)と平行透明板(9)とを同じ屈折率の透明板とし、オ13図のように分割せずに1体の平凹レンズとしてその平面側にフレネルゾーンを形成したものである。このとき輪帯の半径 $r_k$ の $r_{2k-1}$ と $r_{2k}$  ( $k=1, 2, \dots$ )との間のみに屈折率が $n$  ( $n \neq 1$ )の透明物質(2)を付けてフレネルゾーン(2)を形成する。

オ15図は本発明の他の実施例であり、オ14図のフレネルゾーンをオ13図のフレネルゾーンと同様にしてブレース化を計った構成としたものである。

オ12図、オ13図、オ14図およびオ15図に

示した本発明に係わるフレネルゾーンプレートを用いれば、入射平行光が上記フレネルゾーンプレート(3)の光軸(4)に対して相対的に傾いたとしてもコマ収差が小さいので回折限界して近いスポット径となるシャープな集光が得られる。

なお、以上はフレネルゾーンを透明な物質(2)を用いて、その厚みを変えることにより位相型のフレネルゾーンを形成する場合について述べたが、輪帯半径 $r_k$ の0と $r_1$ の間および $r_{2k}$ と $r_{2k+1}$  ( $k=1, 2, \dots$ )との間を透明、 $r_{2k-1}$ と $r_{2k}$  ( $k=1, 2, \dots$ )との間を不透明にしたフレネルゾーンを作製しても効率は上記位相型フレネルゾーンにくらべて低下するが、同様の集光作用を行うのでこのように構成としてもよい。

以上のように、この発明に係るフレネルゾーンプレートでは、平凹レンズの凹面を平行光が入射する入射面とし、平面側にフレネルゾーンを作成し、その輪帯の半径が連立方程式オ3式からオ8式の解となるようにし、かつ残留コマ収差の評価値が小さくなるように平凹レンズの屈折率、厚み

および曲率半径を決定することにより、屈折率が1以上の透明物質内で回折限界のスポット径およびコマ収差の発生量が小さくなるようにしたものであり、入射平行光が光軸に対して傾いたとしても回折限界に近いスポット径が得られ、シャープな集光特性が得られるという効果を有する。

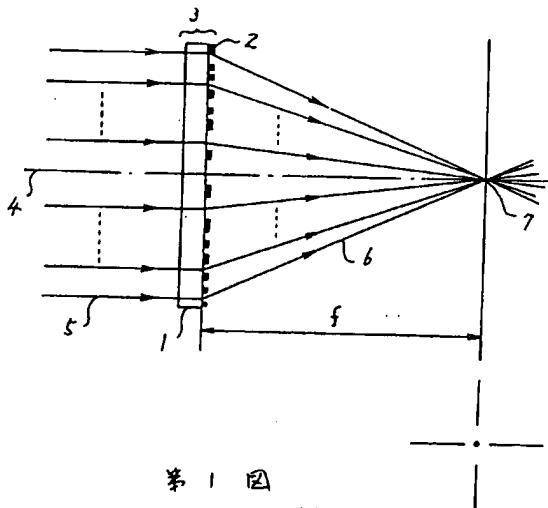
#### 4. 図面の簡単な説明

オ1図は従来のフレネルゾーンプレートを用いて光軸に平行な入射平行光を集光する場合の模式図、オ2図はオ1図に対する集光点でのスポットを示す図、オ3図は従来のフレネルゾーンプレートを用いて $n > 1$ の透明物質に集光する場合の模式図、オ4図はオ3図に対する集光点でのスポットを示す図、オ5図は従来のフレネルゾーンプレートを用いて光軸に対して傾いた入射平行光を集光する場合の模式図、オ6図はオ5図に対する集光点でのスポットダイアグラム、オ7図は本発明に係るフレネルゾーンプレートの輪帯半径を求めるための模式図、オ8図は本発明に係るフレネルゾーンプレートを用いて光軸に対して傾いた入射

平行光を集光する場合の模式図、オ9図はオ8図に対する集光点でのスポットを示す図、オ10図とオ11図はコマ収差曲線の例、オ12図はこの発明に係るフレネルゾーンプレートの一実施例を示す図、オ13図はこの発明に係るフレネルゾーンプレートの他の実施例を示す図、オ14図はこの発明に係るフレネルゾーンプレートの他の実施例を示す図、オ15図はこの発明に係るフレネルゾーンプレートの他の実施例を示す図である。

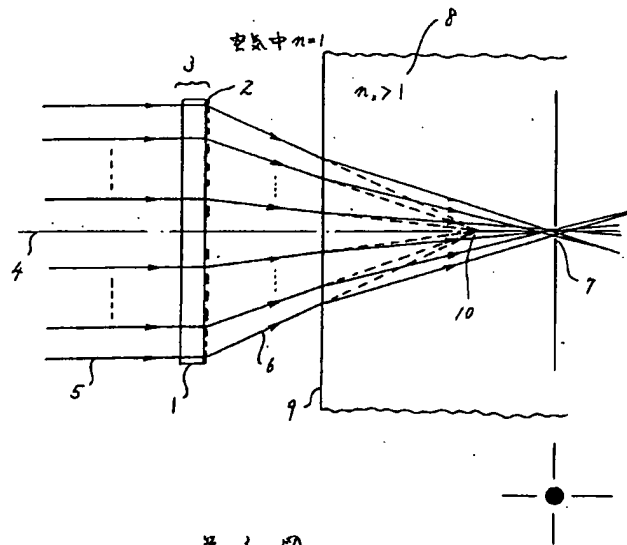
図中、(1)はガラス板、(2)はフレネルゾーン、(3)はフレネルゾーンプレート、(4)は光軸、(5)は入射平行光、(6)は出射光、(7)は集光点、(8)は屈折率が1以上の透明物質、(9)は表面、(10)は焦点、(11a) (11b)は入射平行光、(12a) (12b)は出射光、(13)は集光点、(14)は焦点、(15)は平行透明板、(16)は凹面透明板、(17)は屈折光、(18)は屈折光、(19)は平行レンズ、(20)は基準平面、(21)は屈折率が1以上の透明物質である。

なお、図中、同一あるいは相当部分には同一符号を付して示してある。



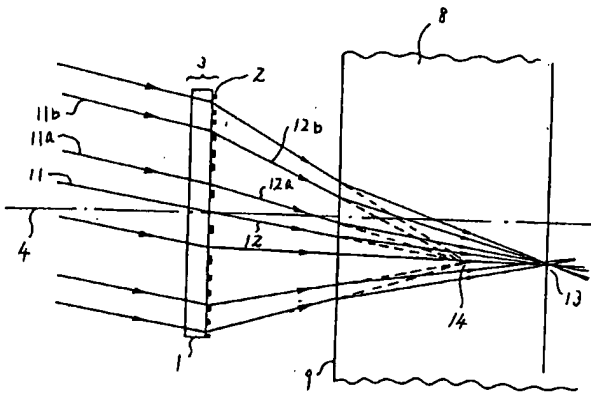
第1図

第2図



第3図

第4図

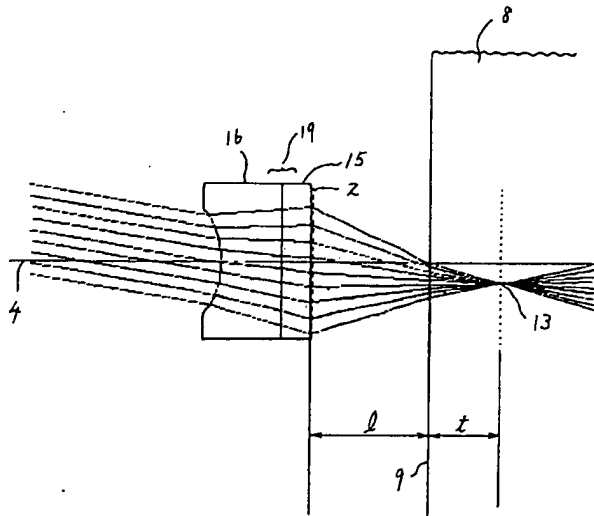
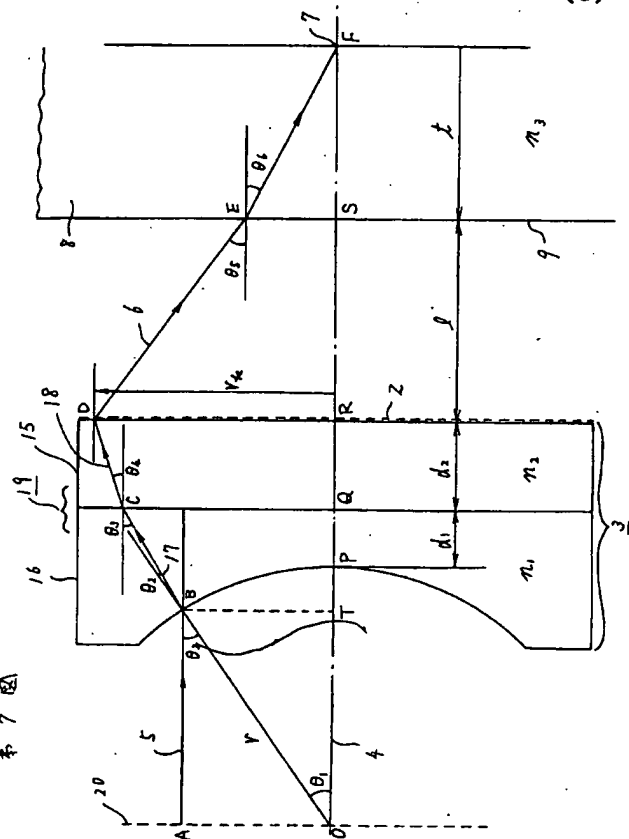


第5図



第6図

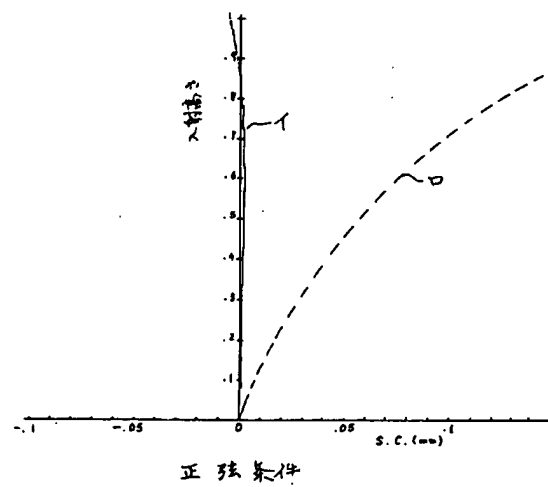
第7図



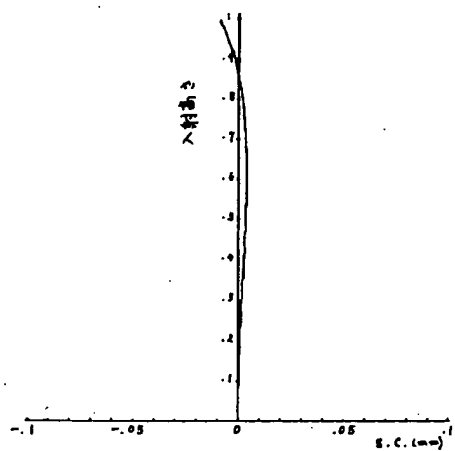
第8図



第9図

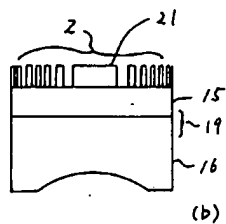
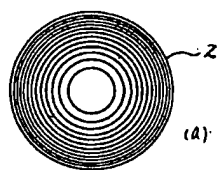


第10図

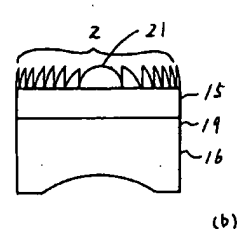
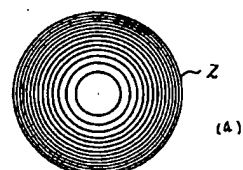


正弦条件

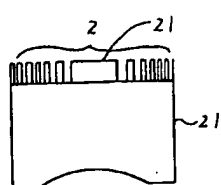
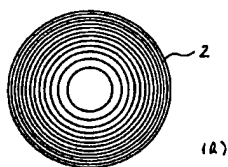
第 11 図



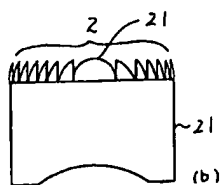
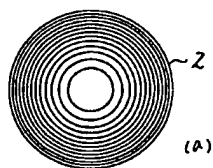
第 12 図



第 13 図



第 14 図



第 15 図